EINE NEUE METHODIK ZUR BESTIMMUNG DER ELEMENTARLADUNG e UND DER BOLTZMANNSCHEN KONSTANTEN k AUS STATISTISCHEN SCHWANKUNGSEFFEKTEN.

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
naturwissenschaftlichen Fakultät der Johann-
Wolfgang-Goethe-Universität
Frankfurt/Main.

Willi Wintermeyer
Wiesbaden
1954
D 30

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

ZUSAMMENFASSUNG

Bei den bisherigen Messungen zur Bestimmung der Elementarladung und der Boltzmannschen Konstanten aus statistischen Schwankungseffekten durch Messen des verstärkten Schrotstromes einer Diode bezw. der Johnsohn-Spannung eines Widerstandes gehen ungenau zu bestimmende Verstärkerdaten in das Endergebnis ein.[1) 2)] Eine Verbesserung des Meßgenauigkeit ist nur schwer durch erhöhte Genauigkeit der einzelnen Messungen zu erreichen. Es erweist sich vielmehr als notwendig, eine neue Meßmethode zu finden, die einfacher und durchsichtiger als die bisherigen Methoden ist. Eine solche Methode soll im folgenden behandelt werden.

1. Grundlagen

Der Schroteffekt kann als Wirkung einzelner zeitlich aufeinanderfolgender Ladungsmengen q_s betrachtet werden, die der Anodenstrom auf die Anode der Meßdiode transportiert. Ein solcher Ladungsimpuls ist gekennzeichnet durch das Zeitintegral über den Anodenstrom

$$q_s = \int_0^{\tau} I_a(t)\, dt$$

Ähnlich kann der Johnsoneffekt aufgefaßt werden als zeitliche Folge einzelner Spannungsimpulse q_j an den Enden des Meßwiderstandes R, die durch das Zeitintegral

$$q_j = \int_0^{\tau} V_j(t)\, dt$$

gekennzeichnet sind. $V_j(t)$ ist die EMK an den Enden des Widerstandes R hervorgerufen durch den Johnsoneffekt. τ ist ein beliebiges kleines Zeitelement.

Ahmt man die Wirkung der Impulse q_s und q_j durch makroskopische Impulse Q_s und Q_j nach, so tritt am Verstärkerausgang der Spannungsverlauf V(t) auf. Wir definieren den Quotienten

$$V(t) \,/\, Q_s = F_s(t) \qquad \text{(1a)}$$

Der zeitliche Verlauf dieses Quotienten $F_s(t)$ wird als Stromimpulskennlinie bezeichnet. Ähnlich kann der Quotient

$$V(t) \,/\, Q_j = F_j(t) \qquad \text{(1b)}$$

definiert werden, dessen zeitlicher Verlauf als Spannungsimpulskennlinie bezeichnet wird

---

1) N.H.Williams und A.W.Hull, Determination of elementary charge e from measurements of shot effect. Phys.Rev.125 S.147-173.

) H.Dänzer, Zur Theorie des Schrot- und Johnsohn-Effektes. Ann.d.Phys. Bd.8,S.176-186

Mit Hilfe dieser Definitionen ergibt sich für den Spannungsverlauf am Verstärkerausgang $v(t)$ hervorgerufen durch einen beliebigen Impuls q, wobei wir nicht zwischen q_s und q_j unterscheiden wollen:

(2) $$v(t) = q\, F(t)\,.$$

Die Gesamtwirkung aller zu einer beliebigen Zeit t_k vor einem Meßzeitpunkt t wirkenden Impulse q_k am Verstärkerausgang - d.h. die Gesamtspannung $\delta V(t)$ am Verstärkerausgang hervorgerufen durch den Schrot- bezw. Johnsohneffekt - ist dann gegeben durch

(3) $$\delta V(t) = \sum_{0}^{\infty} q_k\, F(t_k)\,.$$

Wird ein quadratisch anzeigendes Instrument benutzt, so mißt man die Größe $\overline{\delta V^2(t)}$. Hierfür gilt

(4) $$\overline{\delta V^2} = \overline{q^2}/\tau \int_0^\infty F(t)^2 dt.$$

Diese Beziehung ist grundlegend für alle weiteren Betrachtungen. Im Falle des Schrot- und des Johnsoneffektes hat $\overline{q^2}/\tau$ verschiedene Bedeutungen, die in folgendem näher erläutert werden.

2. Anwendung auf den Schroteffekt

Nach H.Dänzer[2)] gilt im Falle des Schroteffektes für die Größe

(5) $$\overline{q_s^2}/\tau = e\, I_a\,,$$

wobei e die Elementarladung und I_a den mittleren Anodenstrom bedeuten.

Damit lautet Gl.(5) im Falle des Schroteffektes:

(6) $$\overline{\delta V_s^2} = e\, I_a \int_0^\infty F_s(t)^2\, dt.$$

Um die Elementarladung messen zu können, bleibt noch das Integral über die Stromimpulskennlinie $\int F_s(t)^2\, dt$ zu bestimmen. Diese Bestimmung wurde experimentell durchgeführt:

$F_s(t)$ wurde dadurch erhalten, daß eine Ladungsmenge Q_s auf die Anode der Meßdiode gegeben und dann der Ausgangsspannungsverlauf $V(t)$ am Verstärkerausgang erhalten wird. $V(t)\,/\,Q_s$ ist dann gleich $F_s(t)$. Mit ballistischem Ausgangsinstrument gilt für den ballistischen Ausschlag Φ_{ball}:

(7) $$\Phi_{ball} = const. \int_0^\infty V(t)^2\, dt$$

wenn V(t) schnell genug abgeklungen ist gegenüber der Schwingungsdauer des Galvanometers. Die Konstante ist die reziproke ballistische Konstante $1 / c_{ball}$ des Instrumentes. Mit Gl.(1a) folgt:

(8) $$\Phi_{ball} = 1 / c_{ball} \quad Q_s^2 \int_0^\infty F(t)^2\, dt \,.$$

Damit wird das gesuchte Integral:

(9) $$\int_0^\infty F(t)^2\, dt = \frac{\Phi_{ball} \; c_{ball}}{Q_s^2}$$

Zusammen mit Gl.(6) wird die Beziehung zur Bestimmung der Elementarladung:

(10) $$\overline{\delta V^2} = e \frac{I_a \; \Phi_{ball} \; c_{ball}}{Q_s^2} \,.$$

Durch Messung aller anderen Größen wurde die Elementarladung aus der Beziehung (10) ermittelt. Die experimentellen Untersuchungen erstreckten sich auf die prinzipielle Durchführung der Messungen und ergaben recht brauchbare Werte.

Analoge Betrachtungen führen im Falle des Johnsoneffektes auf die Messung der Boltzmannschen Konstanten. Diese werden im folgenden durchgeführt.

3. Anwendung auf den Johnsoneffekt

Wir müssen lediglich die Stromstöße des Anodenstromes beim Schroteffekt in der Rechnung ersetzen durch die Spannungsstöße des Johnsoneffekts. Dann folgt mit H.Dänzer[2] für die Größe

(11) $$\overline{q_j^2} / \tau = 2\, R\, k\, T.$$

Hierbei bedeuten k die Boltzmannsche Konstante, R den Meßwiderstand und T die absolute Temperatur des Widerstandes R. Damit wird der quadratische Mittelwert der Verstärkerausgangsspannung - hervorgerufen durch den Johnsoneffekt - nach Gl.(4):

(12) $$\overline{\delta V_j^2} = 2\, R\, k\, T \int_0^\infty F_j(t)^2\, dt.$$

Auch hier muß zur Bestimmung der Boltzmannschen Konstanten das

Integral über die Spannungsimpulskennlinie experimentell ausgewertet werden.

$F_j(t)$ wird dadurch erhalten, daß in einer kleinen Hilfsspule in Serie zu dem Meßwiderstand R ein den Spannungsstössen des Johnsoneffektes gleicher Spannungsimpuls V_j durch Abschalten eines magnetischen Flusses Q_j erzeugt und dadurch der Spannungsverlauf $V(t)$ am Verstärkerausgang erhalten wird. $V(t) / Q_j$ ist dann gleich $F_j(t)$. Mit ballistischem Ausgangsinstrument erhält man analog zu Abschnitt 2. für das Integral über das Quadrat der Spannungsimpulskennlinie:

$$\int_0^\infty F_j(t)^2 \, dt = \frac{\Phi_{ball} \; c_{ball}}{Q_j^2} \tag{13}$$

Zusammengefaßt folgt aus Gl. (12) und (13):

$$\overline{\delta V_j^2} = k \, \frac{2 \, R \, T \, \Phi_{ball} \; c_{ball}}{Q_j^2} \tag{14}$$

Damit ist die Möglichkeit gegeben, die Boltzmannsche Konstante durch Messung aller anderen Größen zu bestimmen. Ähnlich wie im Falle der Elementarladungsbestimmung aus dem Schroteffekt lassen die angestellten Untersuchungen auch in diesem Falle eine Ausgestaltung der Methode zu einer Präzisionsmethode erhoffen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547420_0098

Lebenslauf.

Am 23.April 1927 wurde ich, Willi Wintermeyer, als Sohn des Landesinspektors Adolf Wintermeyer und dessen Ehefrau Elise geb. Haberstock in Wiesbaden geboren. Von meinem 6. bis 10.Lebensjahr besuchte ich die Volksschule in Wiesbaden-Dotzheim, um anschließend in die Oberschule für Jungen in Wiesbaden überzuwechseln. Dort erhielt ich nach zeitweiser Unterbrechung durch den Militärdienst vom August 1944 bis August 1945 in einem Sonderreife-Lehrgang am 25.November 1946 das Zeugnis der Reife ausgestellt. Vom 15.Februar 1943 bis 8.August 1944 erfüllte ich meine Dienstverpflichtung als Luftwaffenhelfer.

Im Anschluß an das Abitur immatrikulierte ich an der Universität in Mainz mit dem Hauptfach Physik. Daselbst legte ich am 3.Juni 1949 die Prüfung zum Vordiplom und am 3.November 1950 die Diplomprüfung in Physik ab. Im Sommersemester 1951 setzte ich mein Studium an der Universität in Frankfurt a.Main fort, um hier zu promovieren.

Vom 1.April 1950 bis 31.März 1951 war ich Hilfsassistent an der Universität in Mainz und vom 1.April 1951 bis 30.September 1953 wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für angewandte Physik in Frankfurt a.Main. Seit dem 1.Oktober 1953 bin ich Assistent an demselben Institut. Neben dieser Tätigkeit fertigte ich meine Doktorarbeit an.

1.Referent: Prof.Dr. H.Dänzer
2.Referent: Prof.Dr. M. Czerny

Tage der mündlichen Prüfung: 24. und 25.Mai 1954.

54/34 x 1